

Modelado y Simulación de procesos combinados de deshidratación osmótica y congelación de kiwi

Modeling and simulation of combined processes of kiwi fruit osmotic dehydration and freezing

Bianchi M (2), Milisenda P (2), Guarnaschelli A (2), Mascheroni RH (1)

- (1) CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos) (CONICET La Plata y UNLP). 47 y 116, 1900 La Plata, Argentina, y
MODIAL (Facultad de Ingeniería UNLP), La Plata, Argentina
(2) Facultad de Química, Universidad del Centro Educativo Latinoamericano UCEL Avenida Pellegrini 1332, 2000 Rosario, Argentina
mjbianchi@gmail.com

RESUMEN

Se estudió experimentalmente y se modeló numéricamente la deshidratación osmótica (DO) y posterior congelación (dehidrocongelación) en kiwis presentados en rodajas de 1 cm de espesor. El objetivo del presente trabajo fue poder relacionar las condiciones de operación con la velocidad de avance de los procesos. Se utilizaron métodos analíticos basados en la Ley de Difusión de Fick para predecir la difusión de agua y sólidos solubles (sacarosa) en la etapa de deshidratación osmótica y métodos numéricos de diferencias finitas (esquema explícito) para predecir la variación de temperatura durante la congelación. Para ello se generó software propio en el lenguaje MATLAB, tanto para la predicción de propiedades físicas como la solución numérica de los balances resultantes. En la faz experimental, se realizaron deshidrataciones bajo distintas concentraciones de solución y tiempo de contacto y se congelaron muestras con distinto tiempo de deshidratación. Los datos experimentales fueron utilizados también para validar las predicciones del modelo propuesto. Los modelos desarrollados permitieron predecir satisfactoriamente los perfiles de concentración de sólidos y de agua, y los parámetros cinéticos de deshidratación de la fruta, así como los perfiles de temperatura y el tiempo de proceso durante la congelación de kiwis parcialmente deshidratados.

ABSTRACT

The osmotic dehydration and following freezing of kiwi presented in slices of one cm of thickness were experimentally studied and numerically modeled. The objective of the present work was to be able to relate the conditions of operation with the speed of advance of the process. It were used analytical methods based on Fick's law of diffusion to predict water diffusion and soluble solids (sucrose) in the phase of osmotic dehydration and numerical methods of finite difference (explicit scheme) to predict the variation of temperature during freezing. To fulfill this objective, specific software in MATLAB language was developed. This software was used to predict physical properties and also numerical solutions of the resulting balances. In the experimental phase, dehydrations under different concentrations of solution and different time of contact were investigated and samples with different dehydration time were frozen. The experimental information obtained was used to validate the predictions of the proposed model. The developed models allow predicting satisfactorily not only the profiles of solid and water concentration and kinetic parameters of dehydration of the fruit, but also the profiles of temperature and the process time during the freezing of kiwis partially dehydrated.

PALABRAS CLAVE: *dehidrocongelación, deshidratación osmótica, congelación, modelado, kiwi.*

KEYWORDS: *dehydrofreezing, osmotic dehydration, freezing, modeling, kiwi.*

INTRODUCCIÓN

Durante la deshidratación osmótica, el alimento está en contacto con una solución de baja actividad de agua (en la mayoría de los casos soluciones concentradas de sales y/o azúcares) y se establecen dos mecanismos de transferencia de masa: i) el agua, que se transfiere desde el producto hacia la solución, frecuentemente acompañada por sustancias naturales (azúcares, vitaminas, pigmentos y componentes del sabor) y ii) en la dirección opuesta, el soluto se transfiere desde la solución hacia el alimento. Como consecuencia de este intercambio, el producto pierde peso y se encoge. Sin embargo, el producto deshidratado no es microbiológicamente estable, por lo que se requiere un tratamiento posterior para prolongar su vida útil. Varios tratamientos fueron estudiados hasta el momento: congelación (Flink 1975, Hawkes y Flink 1978) y secado convectivo (Islam y Flink 1982, Lenart y Lewicki 1988, Ponting 1973, Ponting *et al.* 1966) son los más típicos.

La deshidratación osmótica como deshidratación parcial de frutas y vegetales seguida de un proceso de congelación (osmo-dehidrocongelación) ofrece algunas ventajas, evitando muchas desventajas de cada proceso cuando se aplican separadamente. La principal ventaja no es sólo de calidad, también existen importantes ahorros en energía, *packaging* y costos de distribución debidos a la reducción de peso y tamaño en el producto, por lo que el proceso de dehidrocongelación representa una alternativa tecnológica considerable obteniéndose productos de alta calidad sensorial y nutricional, siendo más estables a la contaminación microbiológica y al deterioro químico (Torreggiani y Bertolo 2001).

El modelado y la simulación de la transferencia de calor y masa durante la osmo-dehidrocongelación es una difícil tarea debido a los dos fenómenos involucrados: transferencia de masa de sólidos y agua entre el producto y la solución osmótica, y luego, transferencia de calor durante la congelación.

En el presente trabajo, se estudió experimentalmente y se modeló numéricamente la congelación y dehidrocongelación de kiwis variedad Hayward presentados en rodajas de 1 cm de espesor. Se utilizaron métodos analíticos para predecir la difusión de agua y sacarosa y calcular los coeficientes de difusión aparentes en la etapa de deshidratación osmótica; y métodos numéricos de diferencias finitas (diferencias finitas explícitas) para predecir la variación de temperatura durante la congelación. Para ello se generó software propio en el lenguaje MATLAB, tanto para la predicción de propiedades físicas como la solución numérica de los balances resultantes.

Los resultados del modelo desarrollado fueron confirmados con los datos experimentales obtenidos con rodajas de kiwi, empleando como solución osmótica sacarosa de grado comercial a dos concentraciones (40° y 60 °Brix), y luego congelados en un congelador de bandejas convectivo de flujo horizontal (aire a -35 °C). Se obtuvo una validación satisfactoria entre los resultados experimentales y calculados para todo el proceso considerado, es decir, la deshidratación osmótica seguida de congelación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material

Materia prima. Se utilizaron kiwis de la variedad Hayward comprados en la ciudad de La Plata, usando como criterio de selección: nivel de maduración, mismo tamaño y forma, para obtener muestras relativamente homogéneas.

Agente deshidratante. Se trabajó con sacarosa comercial (Ledesma – Buenos Aires – Argentina).

Deshidratación Osmótica

Las frutas seleccionadas fueron lavadas en agua corriente para remoción de suciedad superficial. Luego, fueron peladas manualmente y cortadas en rodajas de 1 cm de espesor, utilizando cuchillo de acero inoxidable. Las muestras fueron pesadas y colocadas en vasos de precipitado con una solución deshidratante a 30 °C.

Las dos concentraciones de sacarosa empleadas en el ensayo fueron de 40 y 60 °Brix. La relación muestra:solución utilizada fue de 1:10 (p/p) para garantizar una concentración de solutos prácticamente constante durante todo el proceso.

Los ensayos de deshidratación osmótica fueron realizados en un baño termostático, marca FERCA, modelo TT 400 con agitación lineal (110 ciclos por minuto), durante 72 horas con extracción de muestras en tiempos sucesivos correspondientes a: 0, 1, 2, 4, 8, 16, 24 y 72 horas de proceso.

Luego del tiempo de inmersión requerido, las muestras fueron drenadas, colocadas sobre papel absorbente para remoción de solución en exceso y pesadas nuevamente para la determinación de pérdida de peso en relación a la masa inicial del producto.

La evolución de la transferencia de masa durante el proceso fue monitoreada a través de la variación en el tiempo de la pérdida de peso (WR), contenido de sólidos totales (TS) y de sólidos solubles (°Brix). La determinación de estos parámetros fue realizada por duplicado, utilizando las siguientes expresiones:

Reducción de peso (WR). Fue calculada en una balanza semianalítica a partir de la diferencia de peso de la muestra antes y después de cada tiempo de tratamiento.

$$(1) \quad WR (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100$$

donde: WR: pérdida de peso de producto deshidratado (%); m_i : masa inicial de la muestra fresca y m_f : masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo t .

Sólidos totales (TS). Fueron determinados en una estufa de vacío a 70 °C (AOAC, 2002) hasta alcanzar un peso constante.

$$(2) \quad TS (\%) = \left(\frac{m_s}{m_0} \right) \times 100$$

donde: m_s : peso de la muestra seca y m_0 : peso de la muestra fresca.

Contenido de sólidos solubles (°Brix). Fueron medidos en un refractómetro (Bellinham + Stanley Limited).

A partir de estos valores experimentales, se evaluaron los parámetros cinéticos del proceso de DO:

Pérdida de agua. Se calculó en términos porcentuales con la siguiente ecuación:

$$(3) \quad WL (\%) = \left(\frac{m_{wo} - m_{wf}}{m_{wo}} \right) \times 100$$

donde: WL = pérdida de agua del producto deshidratado (%); m_{wo} = masa inicial de agua de la muestra (g) y m_{wf} = masa final de agua de la muestra (g).

Ganancia de sólidos. La ganancia de sólidos, o incorporación de azúcares, fue calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$(4) \quad SG (\%) = WL - WR$$

donde: SG = ganancia de sólidos (incorporación de azúcares) (%).

Congelación

Luego del proceso de deshidratación osmótica, las muestras fueron congeladas en un congelador convectivo de bandejas con flujo de aire horizontal (-35 °C). El progreso de la congelación fue monitoreado a través de mediciones de temperaturas con termocuplas de cobre-constantan situadas horizontalmente, hasta alcanzar una temperatura en el producto de -18 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelado del proceso

Cuando se quiere representar un modelo fenomenológico para procesos osmóticos a presión atmosférica, se emplea el modelo de Crank, que consiste en un grupo de soluciones de la ley de difusión de Fick para diferentes geometrías, condiciones límite y condiciones iniciales desarrollado por Crank (Crank 1975). Este modelo ha sido empleado por muchos autores ya que es el modelo fenomenológico más conocido para representar el mecanismo difusional (Ochoa-Martínez y Ayala-Aponte 2005).

El modelo desarrollado para la Deshidratación Osmótica está basado en la Ley de Difusión de Fick para estado no estacionario, que calcula la cantidad de agua que abandona la fruta y los sólidos solubles que difunden hacia la fruta, como una función del tiempo. Las siguientes suposiciones fueron usadas en el desarrollo del modelo: las rodajas de kiwi de 1 cm de espesor se consideraron placas infinitas; las concentraciones iniciales de agua y sólidos solubles en ambas frutas fueron uniformes; el proceso es isotérmico (30 °C); el coeficiente de difusión aparente es constante ($D \neq f(C)$); flujos simultáneos en contra corriente: difusión de agua desde la fruta y difusión de azúcar hacia la fruta son solamente considerados, otros mecanismos de transferencia son despreciados; se considera que un film de solución de azúcar está adherido a la superficie de la fruta como una capa límite (se asume que este film está a la concentración de equilibrio y que el proceso procede directamente por difusión); se desprecia el encogimiento.

Este fenómeno, en difusión unidimensional puede describirse con la Ley de Fick para estado no estacionario dada por las siguientes expresiones:

Para agua:

$$\frac{\partial C^w}{\partial t} = D^w \frac{\partial^2 C^w}{\partial x^2} \quad (5)$$

Para sólidos solubles:

$$\frac{\partial C^s}{\partial t} = D^s \frac{\partial^2 C^s}{\partial x^2} \quad (6)$$

donde: C: concentración; D: coeficiente de difusión efectivo; t: tiempo; x: distancia desde el centro de la placa y los supraíndices: w: agua y s: sólidos solubles (sacarosa en este caso).

Condiciones iniciales

$C = C_0$ en $t = 0$ y $-L/2 < x < +L/2$

Condiciones de contorno

$C = C_1$ para $t > 0$; $x = \pm L/2$

donde C_0 y C_1 son las concentraciones inicial y global (promedio en todo el volumen de solución), respectivamente.

La solución de la ecuaciones (5) y (6) promediada en el volumen, considerando que hay algo de soluto inicialmente presente en el sólido, puede escribirse como:

$$(7) \quad \frac{W - W_\infty}{W_i - W_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left\{ -D^w (2n+1)^2 \frac{\pi^2}{4l^2} t \right\}$$

$$(8) \quad \frac{S - S_\infty}{S_0 - S_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left\{ -D^s (2n+1)^2 \frac{\pi^2}{4l^2} t \right\}$$

donde: D^w y D^s : coeficientes de difusión efectivos para el agua y el azúcar respectivamente; l: medio espesor de la rodaja de fruta = $L/2$; W: contenido medio de agua en la fruta a tiempo t; W_i : contenido medio de agua en la fruta a tiempo $t = 0$ (contenido inicial de humedad); W_∞ : contenido medio de agua en la fruta a tiempo $t = \infty$ (concentración de equilibrio); S: contenido medio de sacarosa en la fruta a tiempo t; S_0 : contenido medio de sacarosa en la fruta a tiempo $t = 0$ (concentración inicial) y S_∞ : contenido medio de sacarosa en la fruta a tiempo $t = \infty$ (concentración de equilibrio).

El resultado del modelo desarrollado se introduce luego para predecir los perfiles de temperatura que ocurren durante la congelación.

El fenómeno de congelación se encuentra fundado en la transferencia de energía entre la fruta y el medio refrigerante.

El modelo propuesto para la Congelación está basado en la ecuación diferencial de la 2° Ley de Fourier de conducción de calor, considerando el fenómeno de conducción térmica no estacionario para una placa infinita en una dimensión.

Se asume que: la distribución de la temperatura y de las propiedades físicas es simétrica; no hay transferencia de masa y evaporación durante la congelación (aunque existe un cambio de fase) y no hay generación de calor.

Se llega a la siguiente ecuación (9), considerando las hipótesis planteadas anteriormente:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla k (\nabla T) = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial k}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} \quad (9)$$

Donde: ρ = densidad de la fruta; k = conductividad térmica; T = temperatura; t = tiempo; x = distancia desde el centro de la placa; C_p = capacidad calorífica.

Condiciones iniciales

$T(x, t) = T_0$; $t = 0$; $0 \leq x \leq L/2$

Donde: $L/2$ = distancia entre el centro y el borde de la placa

Condiciones de contorno

Centro: se asume que no hay flujo calórico debido a las condiciones de simetría

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (10)$$

Superficie: no hay radiación ni evaporación

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L/2} = \alpha (T_s - T_a) \quad (11)$$

Donde: T_s = temperatura en la superficie de la fruta; T_a = temperatura del medio refrigerante (aire); α = difusividad térmica.

La ecuación (9) junto a las condiciones iniciales y de contorno forma un sistema de ecuaciones diferenciales parciales no lineales. Este sistema no tiene solución analítica, por lo que se recurre a una solución numérica.

Se utiliza el método numérico de diferencias finitas (se usó el esquema de diferencias finitas explícitas) para la resolución de los balances, y predecir la variación de temperatura y propiedades en la congelación, discretizando se obtienen las siguientes expresiones:

Para nodos interiores:

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \frac{\Delta t k_i^n}{\Delta x^2 \rho_i^n C_{p_i}^n} (T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n) + \frac{\Delta t}{4\Delta x^2 \rho_i^n C_{p_i}^n} (k_{i+1}^n - k_{i-1}^n) (T_{i+1}^n - T_{i-1}^n) \quad (12)$$

Para el centro:

$$T_1^{n+1} = T_1^n + \frac{4\Delta t k_1^n}{\Delta x^2 \rho_1^n C_{p_1}^n} (T_2^n - 2T_1^n) \quad (13)$$

Para el contorno:

$$T_1^{n+1} = T_1^n + \frac{2\Delta t}{\Delta x^2 \rho_1^n C_{p_1}^n} (T_a - 2T_1^n + T_{1-1}^n) + \frac{\Delta t}{4\Delta x^2 \rho_1^n C_{p_1}^n} [(h\Delta x - k_{1-1}^n)(T_a - T_{1-1}^n)] \quad (14)$$

Cálculo de la temperatura de inicio de congelación (Tocci y Mascheroni, 2008):

$$T_{CR} = 129,37(W)^3 - 356,67(W)^2 + 326,11(W) - 100,55 \quad (15)$$

Donde: W=fracción en peso del contenido de agua

Cálculo de las propiedades para temperaturas superiores al punto de congelación

Capacidad calorífica, Cp (Mascheroni 1995):

$$C_p = 1672 + 2508W \quad (16)$$

Densidad, ρ (Choi y Okos 1986):

$$\frac{1}{\rho} = \sum \frac{x_i}{\rho_i} \quad (17)$$

$$\rho_i = a_i + b_i T \quad (18)$$

$$\rho_a = 997,18 + 0,0031439T - 0,0037574T^2 \quad (19)$$

Donde: ρ = densidad de la fruta; ρ_i = densidad de cada componente de la fruta; x_i = fracción en peso de cada componente de la fruta; ρ_a = Densidad del agua; T = temperatura; a_i y b_i = coeficientes individuales de los componente de la fruta.

Conductividad Térmica, k (Hermans 1979):

$$k = 0,448W + 0,0005T \quad (20)$$

Donde: k = coeficiente de conductividad térmica de la fruta; T = temperatura (°K); W= fracción en peso del contenido de agua.

Cálculo de las propiedades para temperaturas inferiores al punto de congelación:

Capacidad calorífica, Cp (Mascheroni 1995):

$$C_p = C_{p_s} (1 - W) + W(C_{p_h} - C_{p_a}) \left(1 - \frac{T_{CR}}{T} \right) + C_{p_a} W - \frac{LWT_{CR}}{T^2} \quad (21)$$

donde: C_{p_s} = capacidad calorífica de sólidos; C_{p_h} = capacidad calorífica del hielo; C_{p_a} = capacidad calorífica del agua; L= 333.500 J/Kg

Densidad, ρ (Choi y Okos 1986):

$$\rho = \frac{1}{\left[\frac{\gamma}{\rho_\gamma} + \frac{(1-\gamma)}{\rho_w} \right] W + \frac{(1-W)}{\rho_s}} \quad (22)$$

Donde: ρ = densidad de la fruta; ρ_γ = densidad del hielo; ρ_s = densidad del sólido; ρ_w = densidad del agua; W= contenido de agua; γ = contenido de hielo = $1 - (T_{cr} / T)$ (Mascheroni 1995)

Conductividad Térmica, k (Choi y Okos 1986):

$$k = \left[\gamma k_\gamma + (1 - \gamma W) k_w \right] W + (1 - W) k_s \quad (23)$$

Donde: γ = contenido de hielo = $1 - (T_{cr} / T)$; k = coeficiente de conductividad térmica de la fruta; W= contenido de agua; k_w = coeficiente de conductividad térmica para el agua; k_s = coeficiente de conductividad térmica para los sólidos; k_γ = coeficiente de conductividad térmica para el hielo.

Para ello se generó software propio en el lenguaje MATLAB, tanto para la predicción de propiedades físicas como la solución numérica de los balances resultantes.

Resultados de las experiencias de DO

En las **Figuras 1 y 2** se observan las evoluciones de los parámetros: pérdida de agua y ganancia de sólidos, de las rodajas de kiwi durante las experiencias de DO, utilizando sacarosa como agente deshidratante a 40 y 60 °Brix, respectivamente. Se observa que las muestras deshidratadas sufren una mayor velocidad de pérdida de agua (**Figura 1**) durante las 4 primeras horas de proceso en comparación con la pérdida de agua alcanzada en las 72 horas de deshidratación, principalmente en los ensayos realizados con sacarosa a 60 °Brix, consecuencia de una mayor fuerza osmótica de deshidratación existente entre el alimento y la solución hipertónica al inicio del proceso.

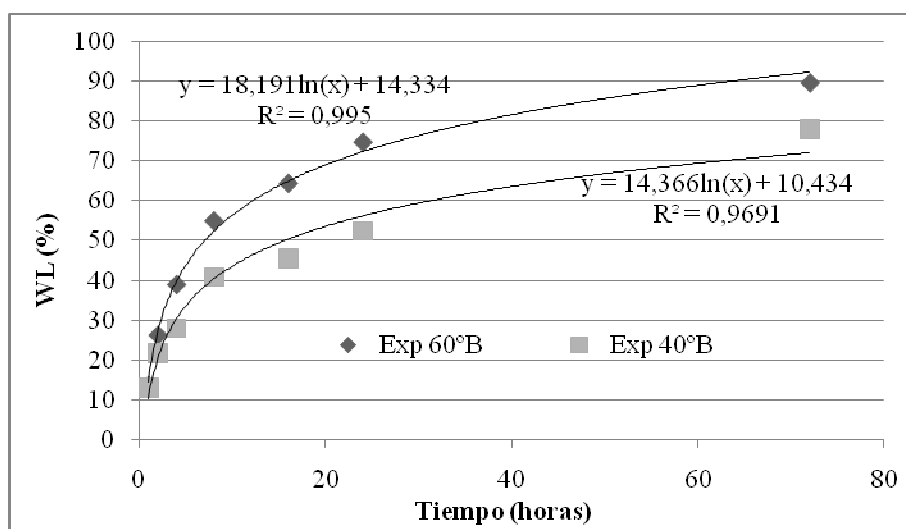


Figura 1. Pérdida de agua (Water Loss: WL) durante 72 horas de proceso para las 2 condiciones estudiadas.

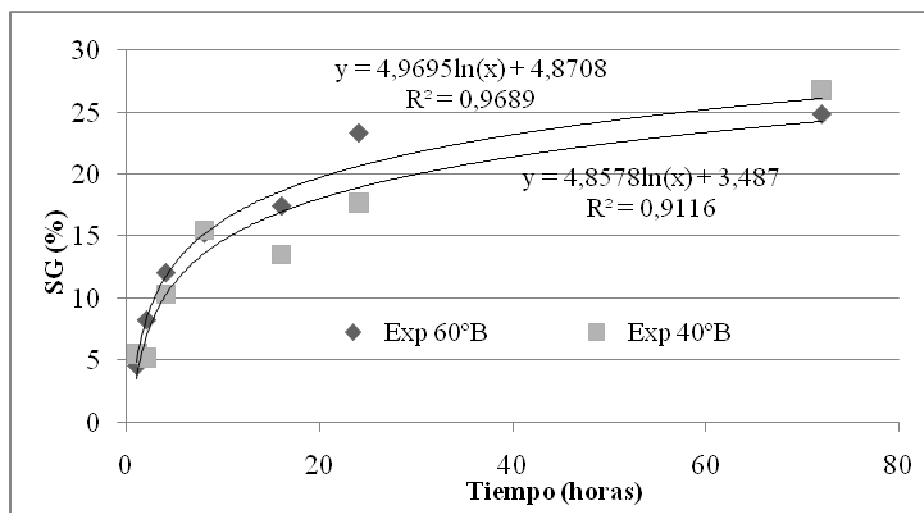


Figura2. Ganancia de sólidos (Solid Gain: SG) durante 72 horas de proceso para las 2 condiciones estudiadas

Además, en ambos ensayos, se observó una tendencia a la estabilización hacia las 72 horas de proceso, fundamentalmente debido a una aproximación a la condición de equilibrio.

Con relación a la ganancia de sólidos, en la **Figura 2**, se observa que un incremento en la concentración de sacarosa (solución 60 °Brix) no influyó significativamente en el ingreso de sólidos, comparado con la solución menos concentrada (solución 40 °Brix).

En la **Tabla 1**, se presentan los valores de los coeficientes de difusión aparentes durante la DO en ambas concentraciones, obtenidos graficando en escala logarítmica el valor de las concentraciones adimensionales vs tiempo y ajustando al primer término de las ecuaciones (7) y (8) (aproximación

para tiempos largos). Se observa que los coeficientes son claramente más altos para la solución de 60 °Brix, y además para sacarosa respecto de agua.

Tabla 1. Valores de los coeficientes de difusión aparentes durante la DO de kiwis.

Fruta y condiciones	D Agua (m ² /s)	D Sacarosa (m ² /s)
Kiwi 40 °Brix	3,72 10 ⁻⁰⁹ (R ² = 0,867)	1,81 10 ⁻⁰⁸ (R ² = 0,957)
Kiwi 60 °Brix	7,09 10 ⁻⁰⁹ (R ² = 0,973)	2,35 10 ⁻⁰⁸ (R ² = 0,836)

Resultados de las experiencias de congelación

La **Figura 3** presenta un ejemplo de las historias térmicas experimentales y simuladas por el modelo numérico para las muestras deshidratadas, en este caso en solución de sacarosa de 60 °Brix. Se observa que – como es esperable - las muestras deshidratadas durante mayor tiempo presentan menor tiempo de congelación debido a la disminución del contenido de agua congelable.

Comparando las curvas experimentales y las simuladas teóricas, las historias térmicas predichas son concordantes – contemplando los posibles errores experimentales y además las limitaciones de los valores de propiedades térmicas usados - con las experimentales para las todas las muestras deshidratadas.

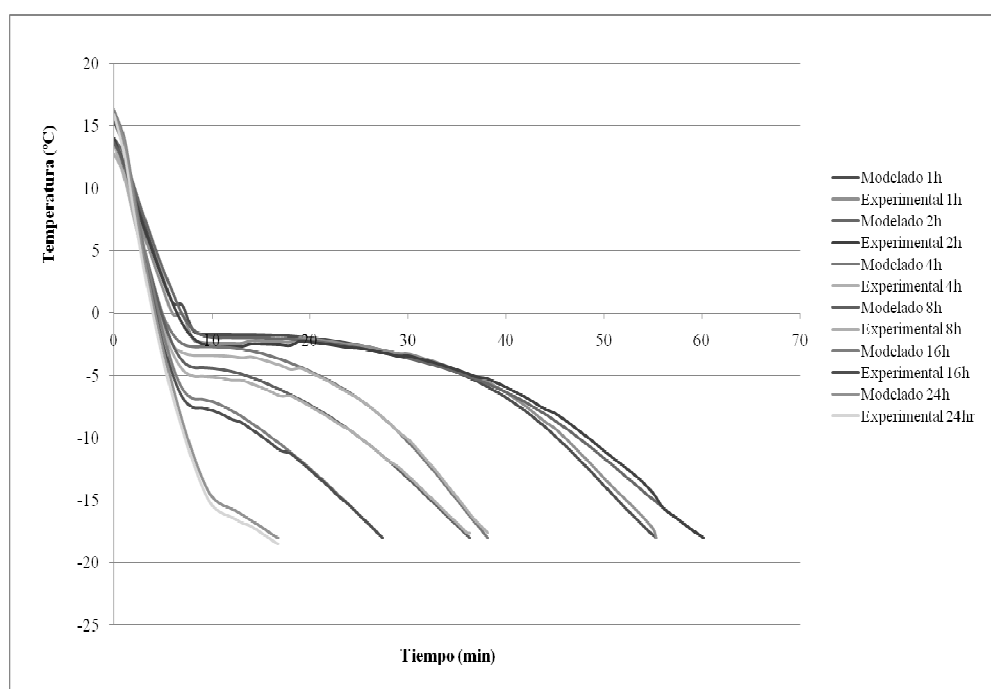


Figura 3. Historias térmicas durante la congelación de Kiwi previamente deshidratado con solución de sacarosa de 60 °B

CONCLUSIONES

La simulación del proceso de dehidrocongelación (deshidratación osmótica y posterior congelación) abordada en el presente trabajo fue satisfactoriamente validada con los resultados experimentales obtenidos de rodajas de kiwi.

Por lo tanto, los modelos desarrollados permiten predecir los perfiles de concentración de sólidos y de agua, y los parámetros cinéticos de deshidratación de la fruta, así como los perfiles de temperatura y el tiempo de proceso durante la congelación de muestras parcialmente deshidratadas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por la Secretaría de Investigación y Desarrollo de la Universidad del Centro Educativo Latinoamericano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agnelli ME, Marani, CM and Mascheroni, RH. 2005. Modelling of heat and mass transfer during (osmo)dehydrefreezing of fruits. *Journal of Food Engineering*, 69, 415-424.

A.O.A.C. 2002. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 17th ed., Ed. William Horwitz, Gaithersburg.

Choi Y, Okos MR. 1986. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. *Food Engineering and Process Applications*. 1, 93.

Crank J. 1975. *The mathematics of diffusion*. Oxford: Clarendon Press.

Flink JM. 1975. Process conditions for improved flavor quality of freeze dried foods. *Journal of Agriculture & Food Chemistry*, 19, 1019-1026.

Hawkes J, Flink JM. 1978. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing Preservation*, 2, 265-284.

Hermans F. 1979. Thesis, University of Leven, Holanda.

Islam MN, Flink JN. 1982. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *Journal of Food Technology*, 17, 387-403.

Lenart A, Lewicki PP. 1988. Osmotic preconcentration of carrot tissue followed by convection drying. In S. Bruin (Ed.), *Preconcentration and drying of food materials* (pp. 307 -308).

Mascheroni RH. 1995. *Curso de Transferencia de Calor en Refrigeración, Congelación y Descongelación de Alimentos*. Módulo Propiedades Térmicas, 55 pag.

Ochoa-Martínez CI, Ayala-Aponte A. 2005. Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4, (5), 330-342.

Ponting JD. 1973. Osmotic dehydration of fruits — Recent modifications and applications. *Process Biochemistry*, 8, 18-20.

Ponting JD, Walters GG, Forrey RR, Jackson R, Stanley WL. 1966. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20, 125-128.

Tocci AM, Mascheroni RH. 2008. Some thermal properties of fresh and osmotically dehydrated kiwifruit above and below initial freezing temperature. *Journal of Food Engineering* 88, 20-27.

Torreggiani D, Bertolo G. 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49, 247-253.